

# ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Проведена оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі парової котельні.*

**Ключові слова:** теплонасосна установка, техніко-економічні показники, теплова схема.

## *Abstract*

*An evaluation of the energy and environmental efficiency indicators of options for the use of heat pump installations in the thermal scheme of a steam boiler house was carried out.*

**Key words:** heat pump installation, technical and economic indicators, thermal scheme.

## Вступ

Технологія теплового насоса може принести великі економічні, екологічні та соціальні переваги суспільству. Ці переваги будуть тільки зростати, оскільки ефективність систем покращуватиметься, а теплові насоси можна буде використовувати у все більшій кількості областей застосування. З таким розвитком виробничі витрати впадуть відповідно до ефекту масштабу виробництва та технологічного прогресу [1 – 6].

Теплові насоси також сприяють циркулярній (енергетичній) економіці шляхом рекуперації та повторного використання надлишкового тепла та енергії в різних процесах нагрівання та охолодження. Ця технологія є ключовою для зв'язку використання відновлюваних джерел енергії в електроенергії та теплоті з енергоефективністю. Це дозволяє забезпечити швидший перехід споживачів і галузей промисловості з викопного палива, що зрештою зробить Україну більш конкурентоспроможною на світовій арені [5 – 7].

Успішний процес енергетичного переходу вимагає політичної волі та амбіцій на європейському та національному рівнях. У разі досягнення прискореної декарбонізації опалення та охолодження можна закласти основу для декарбонізації суспільства на основі існуючих теплонасосних технологій [5 – 14]. Отже, тема дослідження є актуальною.

## Результати дослідження

**Метою дослідження** є оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок (ТНУ) в тепловій схемі парової котельні. Виконаний аналіз низки показників енергетичної та екологічної ефективності теплової схеми парової котельні з ТНУ, використано методологічні основи та результати досліджень з [1 – 14].

**Опис математичної моделі теплової схеми парової котельні у разі застосування теплонасосної установки.**

Вихідними даними для виконання досліджень, що спрямовані на визначення показників теплонасосних установок на основі математичної моделі парокомпресійної теплонасосної установки, згідно з [7 – 16], є:

- вид та термодинамічні властивості холодоагентів;
- температури низькотемпературного та високотемпературного джерел теплоти у випарнику та конденсаторі;
- витрати теплоносіїв у випарнику та конденсаторі теплового насоса;
- теплова потужність випарника, конденсатора та навантаження опалення та гарячого водопостачання від теплового насоса.

Математичний опис закладений у модель для досліджень показників теплонасосних установок в спеціалізованих програмних продуктах.

### Математичне програмне забезпечення розрахунків.

Моделювання з дослідження показників ефективності теплових насосів здійснювалось за допомогою програми HP FAT Calculator Programme-2023 [17] Датського Технологічного Інституту.

Програма HP FAT (Heat Pump First Assessment Tool) базується на комерційному пакеті Engineering Equation Solver (EES) і відповідному математичному описі теплового насосу. EES забезпечує розв'язування систем лінійних та нелінійних рівнянь. В пакеті EES закладено спеціалізовані функції та відповідні рівняння з термодинаміки та теплопередачі. EES передбачає врахування термодинамічних властивостей, проводить ітераційне розв'язання, спрощує визначення термодинамічних властивостей з використанням вбудованих функцій. Пакет EES сприяє оптимізації, дозволяє мінімізувати або максимізувати вибрану змінну. Зазначений програмний пакет розроблено компанією F-Chart Software [18]. HP FAT забезпечує оцінку ефективності застосування теплового насоса, дозволяє визначити потужності та прості фінансові показники.

На рис. 1 – 3 показані результати моделювання в програмі HP FAT для трьох режимів роботи теплонасосних установок для забезпечення необхідних параметрів у відповідності з показниками теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні. Здійснено визначення енергетичних та економічних показників.

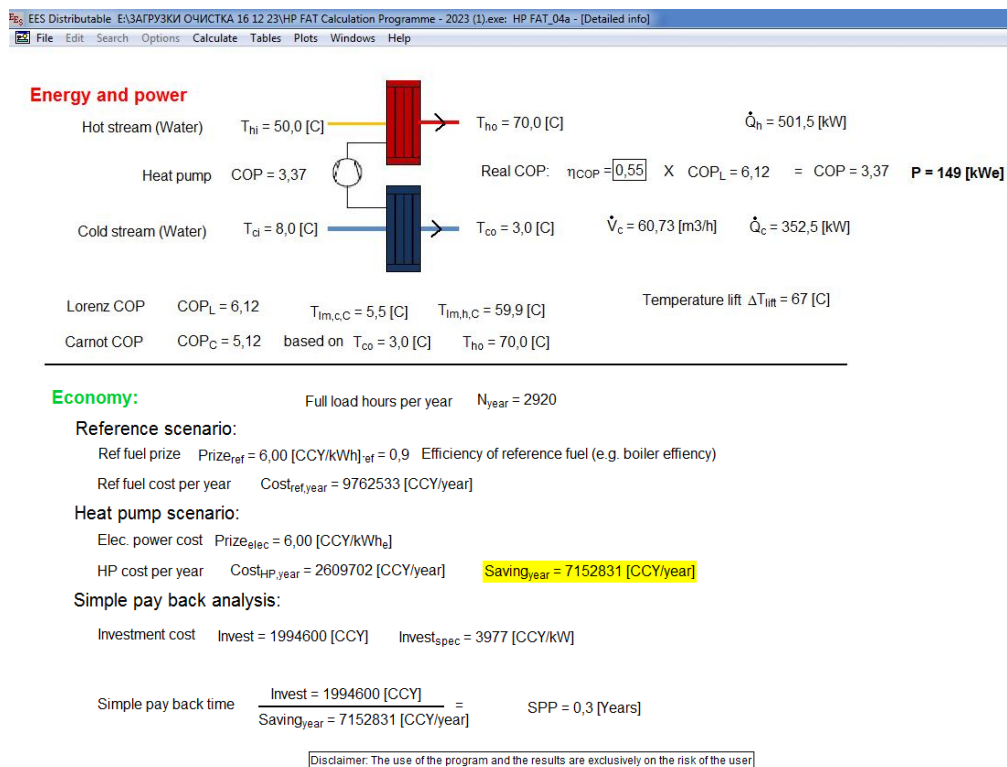


Рис. 1 – Результати моделювання з визначенням енергетичних та економічних показників для першого режиму роботи теплонасосних установок

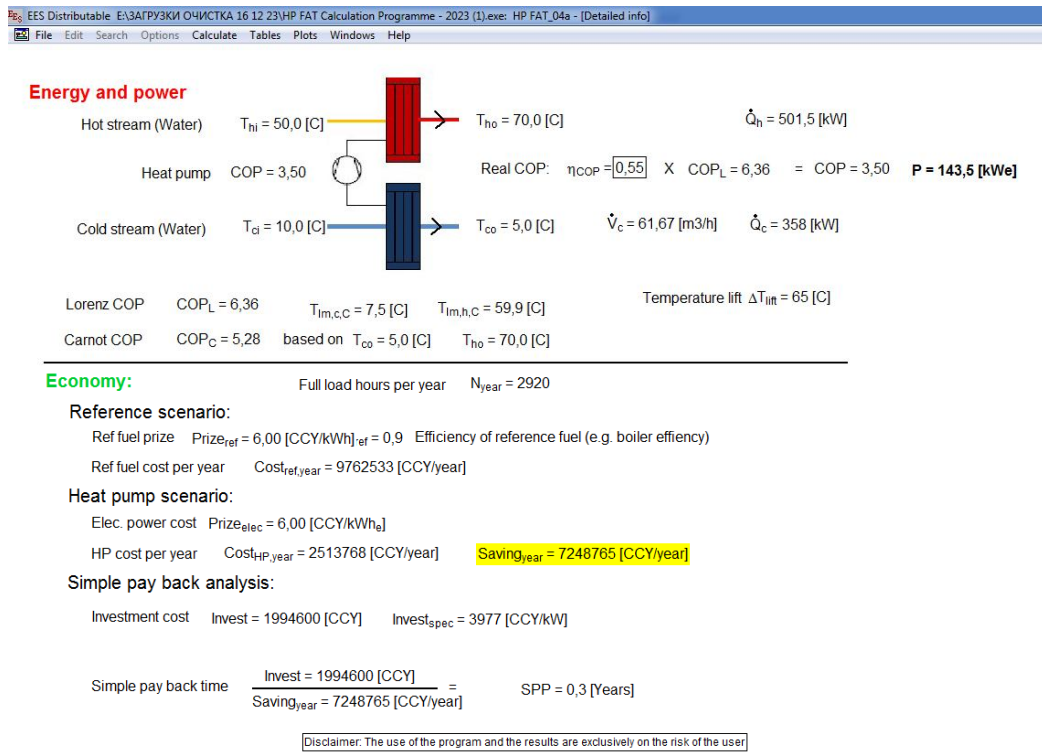


Рис. 2 – Результати моделювання з визначенням енергетичних та економічних показників для другого режиму роботи теплонасосних установок

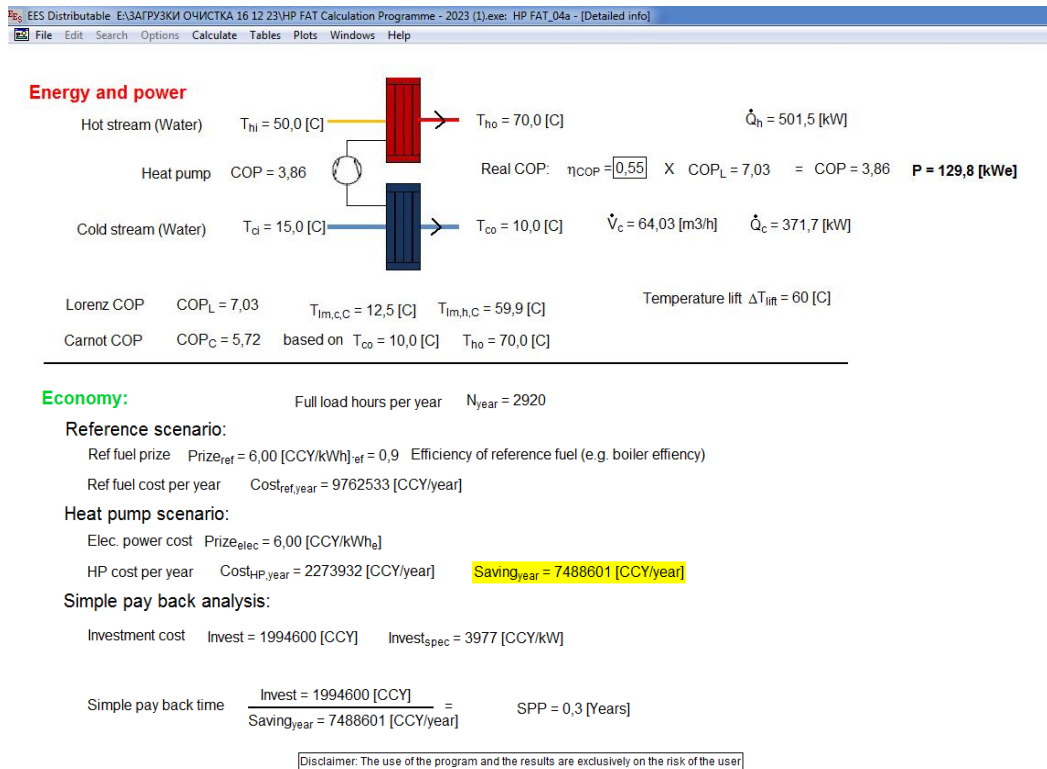


Рис. 3 – Результати моделювання з визначенням енергетичних та економічних показників для третього режиму роботи теплонасосних установок

Для оцінки екологічного впливу обраних до дослідження варіантів було використано програму компанії Treeze Ltd, що здійснює оцінку життєвого циклу [19]. В цій програмі здійснюється оцінка життєвого циклу продукції на навколишнє середовище. Використано програми-калькулятори теплових насосів та різних джерел теплотабезпечення [20 – 21], що дозволяють кількісно оцінити вплив на навколишнє середовище.

**Результати математичного моделювання з використанням програмних продуктів.**

Моделювання проводилось для варіантів застосування теплових насосів з використанням теплоти повітря, ґрунту та підземних вод, а також стічних вод для визначених з теплової схеми граничних значень локальних та загальних коефіцієнтів ефективності в діапазоні 2...3.

На рис. 4 – 7 для прикладу наведені показники роботи декількох з досліджених варіантів для різних типів теплових насосів з використанням різних варіантів джерел низькотемпературної теплоти за умови зміни показників ефективності теплових насосів.

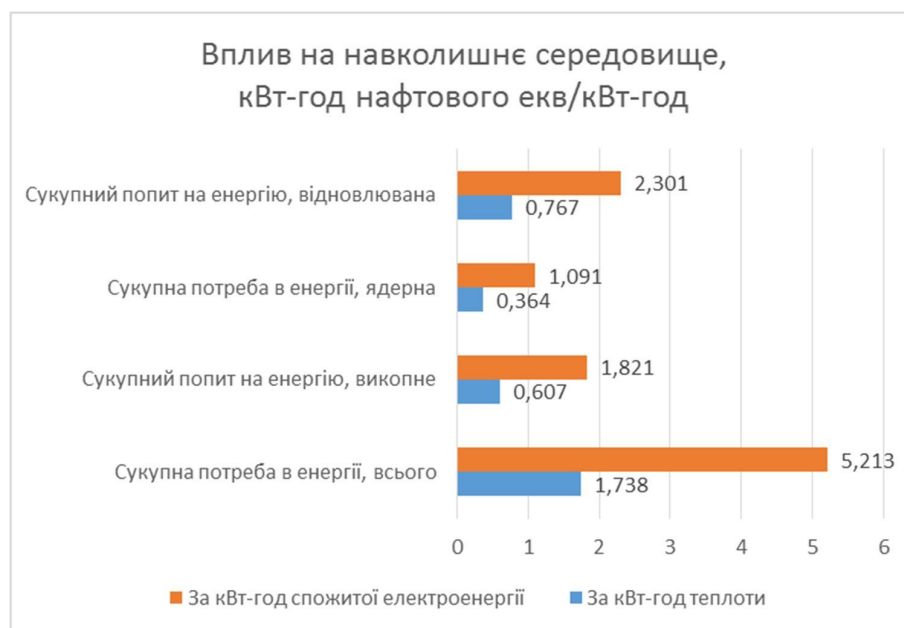


Рис. 4 – Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3

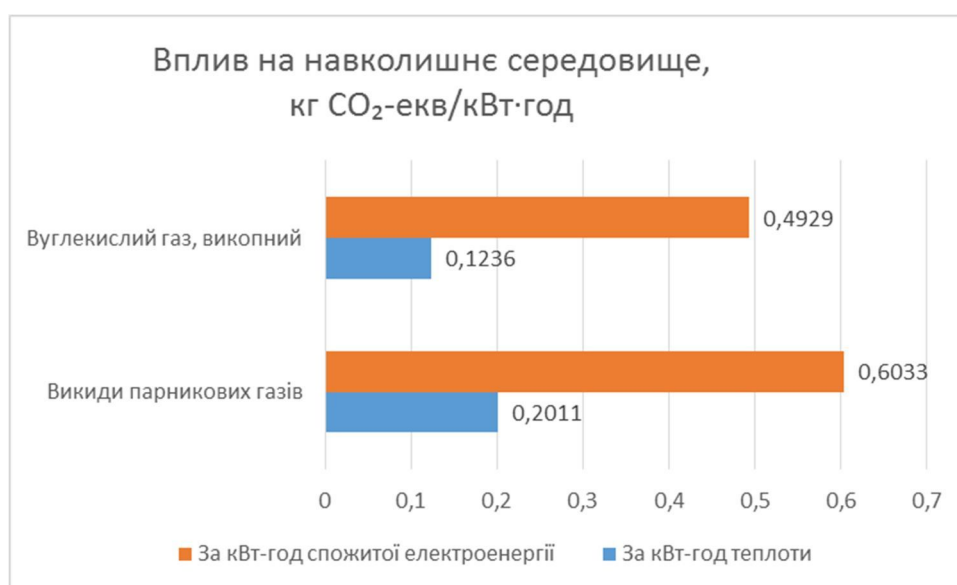


Рис. 5 – Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3

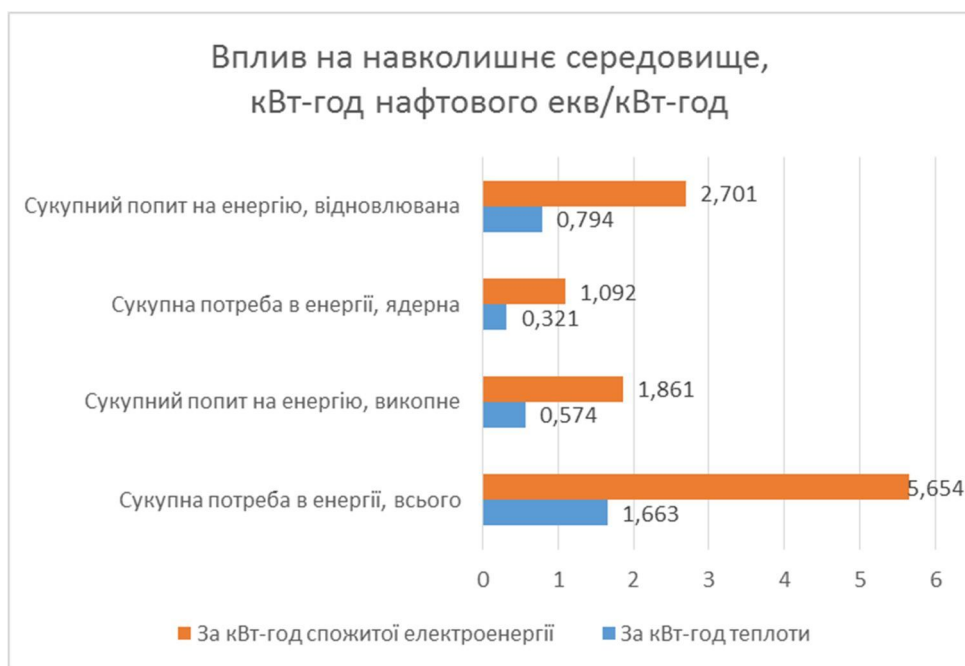


Рис. 6 – Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3

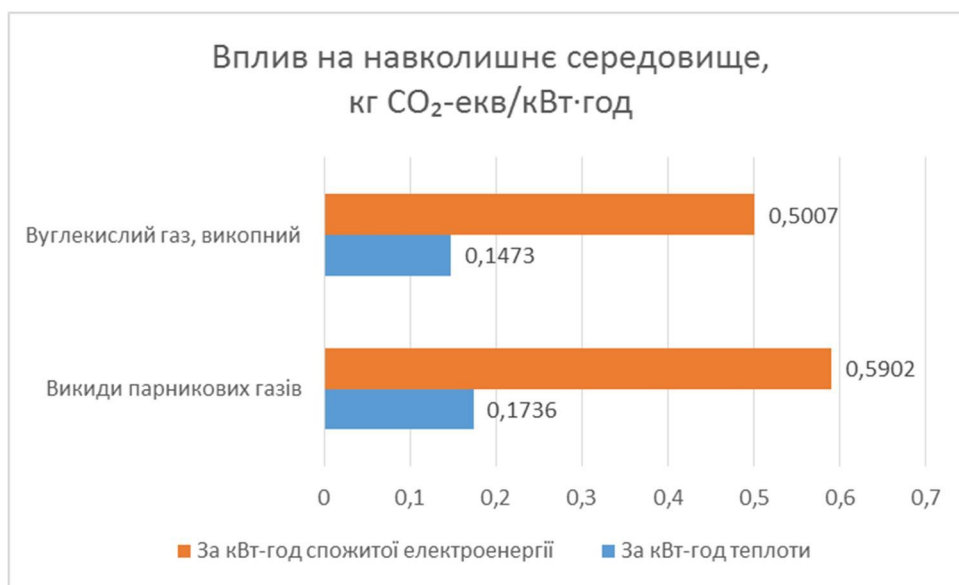


Рис. 7 – Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3

На основі аналізу показників з рис 1 – 7 можна зробити висновок, що використання теплоти підземних вод в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та кращі екологічні показники порівняно з роботою котельні. За результатами досліджень визначено, що показники екологічної ефективності теплових насосів будуть підвищуватись зі збільшенням показника енергетичної ефективності.

За результатами аналізу показників базового та низки альтернативних варіантів теплової схеми промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом на низькотемпературній теплоті різних джерел можна зробити висновок, що використання теплоти підземних вод в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та покращує екологічні показники порівняно з базовим варіантом.

За результатами проведених досліджень та оцінки одержаних наукових результатів визначено енергетичні та екологічні переваги застосування теплонасосних установок з використанням теплоти підземних вод для підвищення енергоефективності у тепловій схемі промислово-опалювальної котельні. Було обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні з теплонасосною установкою на теплоті підземних вод.

### Висновки

1. В дослідженні виконана оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі парової котельні. Виконаний аналіз низки показників енергетичної та екологічної ефективності теплової схеми парової котельні з ТНУ, використано методологічні основи та результати попередніх досліджень.
2. За результатами аналізу показників базового та низки альтернативних варіантів теплової схеми парової промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом на низькотемпературній теплоті різних джерел можна зробити висновок, що використання теплоти підземних вод в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та покращує екологічні показники порівняно з базовим варіантом.
3. За результатами проведених досліджень та оцінки одержаних наукових результатів визначено енергетичні та екологічні переваги застосування теплонасосних установок з використанням теплоти підземних вод для підвищення енергоефективності у тепловій схемі промислово-опалювальної парової котельні. Було обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні з теплонасосною установкою на теплоті підземних вод.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 62 p
2. Остапенко О. П. Холодильна техніка та холодильна технологія. Теплові насоси : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 123 с.
3. Остапенко О. П., Бакум О. В., Ющишина А. В. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти. Наукові праці ВНТУ. 2013. № 3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/371/369> (Дата звертання 08.12.23)
4. Ostapenko O. P. Estimation of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations in Ukraine, in the concepts of green logistics and sustainable development. Institutional Development Mechanism Of The Financial System Of The National Economy: Collective monograph. Batumi: Publishing House “Kalmosani”, 2020, 232 p. P. 52 – 66.
5. Ostapenko Olga. Study of energy-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations, using the heat of the industrial and natural sources, in industry and municipal heat power branch of Ukraine. Social and Legal Aspects of the Development of Civil Society Institutions: Collective Monograph. Part I. Warsaw: Institute of European Integration, Bmt Eridia Sp. z o. o., 2019, 536 p. P. 292 – 308.
6. Ostapenko O. P. Estimation of tendencies of transforming the energy sectors of World, European Union and Ukraine in the perspective to 2050 with using the renewable energy sources in the concept of Sustainable Development. Social capital: Vectors of development of behavioural economics: Collective monograph. ACCESS Press Publishing house: Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2021, 184 p. P. 99 – 139.
7. Ostapenko O, Alina G, Serikova M, Popp L, Kurbatova T and Bashu Z. (2023) Towards Overcoming Energy Crisis and Energy Transition Acceleration: Evaluation of Economic and Environmental Perspectives of Renewable Energy Development. In: Koval V, Olczak P (eds) *Circular Economy for Renewable Energy. Green Energy and Technology*. Cham: Springer,. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-30800-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-30800-0_7) (Дата звертання 08.12.23).
8. Остапенко О. П. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти: колект. моногр. Полтава: ПП Астроя, 2019. С. 526 – 530.
9. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти. Наукові праці ОНАХТ. 2017. Т. 81. Вип. 1. С. 136 – 141.

10. Остапенко О. П. Методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти. Наукові праці ВНТУ. 2017. № 3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/515/507> (Дата звертання 08.12.23)
11. Ostapenko, O., Savina, N., Mamatova, L., Zienina-Bilichenko, A. & Selezneva, O. (2020). Perspectives of application of innovative resource-saving technologies in the concepts of green logistics and sustainable development. Turismo: Estudos & Práticas (UERN), Mossoró/RN, Caderno Suplementar, 02. URL: <http://geplat.com/rtep/index.php/tourism/article/view/488> (Дата звертання 08.12.23)
12. Ostapenko, O. P. Substantiation of the method of complex assessment of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations and peak sources of heat. Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. 2018. №1. URL: <https://works.vntu.edu.ua/index.php/works/article/view/526/524> (Дата звертання 08.12.23)
13. Ostapenko O. P. Estimation of efficiency of energy- and resource-saving heat pump technologies in Ukraine, in the concepts of Green Logistics and Sustainable Development. Modern Approaches to Knowledge Management Development : Collective Monograph. Ljubljana: Visoka šola za poslovne vede. 2020, 543 p. P. 174 – 186.
14. Ostapenko, O.; Olczak, P.; Koval, V.; Hren, L.; Matuszewska, D.; Postupna, O. (2022). Application of Geoinformation Systems for Assessment of Effective Integration of Renewable Energy Technologies in the Energy Sector of Ukraine. Appl. Sci. 2022, 12, 592. URL : <https://doi.org/10.3390/app12020592> (Дата звертання 08.12.23)
15. Ostapenko Olga. Analysis of energy, ecological and economic efficiency of steam compressor heat pump installations, as compared with alternative sources of heat supply, with accounting the concept of sustainable development // Sustainable Development Under the Conditions of European Integration: Collective monograph / [editorial board Darko Bele, Lidija Weis, Nevenka Maher]. Part II. – Ljubljana: VŠPV, Visoka šola za poslovne vede = Ljubljana School of Business, 2019, 458 p. P. 312 – 329.
16. Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2009. 176 с.
17. HP FAT Calculator Programme-2023. URL: <https://www.dti.dk/specialists/heat-pumps-hp-fat/39679> (Дата звертання 08.12.23).
18. Engineering Equation Solver (EES). URL: <https://fchartsoftware.com/ees/> (Дата звертання 08.12.23)
19. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 08.12.23).
20. Калькулятор централізованого опалення. URL: [https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22\\_de\\_v4/Oekobilanzrechner\\_Fernwaerme\\_2022\\_deutsch\\_v4\\_UVEK2022.htm](https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22_de_v4/Oekobilanzrechner_Fernwaerme_2022_deutsch_v4_UVEK2022.htm) (Дата звертання 08.12.23).
21. Калькулятор теплового насосу. URL: [https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLWaermepumpen22\\_de\\_v5/Oekobilanzrechner\\_Waermepumpen\\_2022\\_deutsch\\_v5\\_UVEK2022.htm](https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLWaermepumpen22_de_v5/Oekobilanzrechner_Waermepumpen_2022_deutsch_v5_UVEK2022.htm) (Дата звертання 08.12.23).

**Ольга Павлівна Остапенко** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [ostapenko1208@gmail.com](mailto:ostapenko1208@gmail.com)

**Ярослав Сергійович Попротський** – студент групи ТЕ-22м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Olga P. Ostapenko** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Heat Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [ostapenko1208@gmail.com](mailto:ostapenko1208@gmail.com)

**Yaroslav S. Poprotskyi** – Student of the Faculty of the Building, of Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia